



RoboTICE : La Robotique comme Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement

David Janiszek, Damien Pellier, Julie Maclair, Y. Parchemal, Georges-Louis Baron

► To cite this version:

David Janiszek, Damien Pellier, Julie Maclair, Y. Parchemal, Georges-Louis Baron. RoboTICE : La Robotique comme Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement. 7ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement, Dec 2010, Nancy, France. hal-00977460

HAL Id: hal-00977460

<https://inria.hal.science/hal-00977460>

Submitted on 11 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RoboTICE : La Robotique comme Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement

Janiszek David, Pellier Damien, Mauclair Julie, Parchemal Yannick, Baron Georges-Louis
{david.janiszek, damien.pellier, julie.mauclair, yannick.parchemal, georges-louis.baron }@parisdescartes.fr
45 Rue des Saints-Pères
75006 Paris

RÉSUMÉ : Inspiré par les pratiques d'établissements prestigieux (notamment au MIT), le projet pédagogique ici présenté vise à fournir un support attractif pour l'enseignement de l'intelligence artificielle au travers de projets interdisciplinaires et à améliorer la réussite des étudiants en licence et en master. En effet, en impliquant les étudiants dans des projets leur permettant de découvrir les différentes thématiques enseignées en master, nous souhaitons intéresser les étudiants de licence et les accompagner dans la construction de leur projet de formation afin qu'il leur corresponde au mieux.

Mots clés : Intelligence artificielle, robotique, interdisciplinarité, apprentissages, pédagogie.

ABSTRACT : Inspired by prestigious institutions (including MIT), this pedagogical project aims to provide an attractive medium for teaching artificial intelligence through interdisciplinary projects and to improve the success of undergraduate and master's students. Indeed, by involving students in projects that let them discover the different subjects taught in their future courses, we want to awake undergraduate students' interest and assist them in building their training project.

Keywords : Artificial intelligence, robots, interdisciplinarité, learning, pedagogy.

1 INTRODUCTION

Cet article présente un projet pédagogique mené au sein de l'université Paris Descartes qui a visé à fournir un support attractif pour l'enseignement de l'intelligence artificielle au travers de projets interdisciplinaires et à améliorer la réussite en licence et en master. En effet, en impliquant les étudiants de licence dans des projets leur permettant de découvrir les différentes thématiques enseignées en master (qui s'avèrent être peu présentes dans leur cursus de licence), nous souhaitons les intéresser et les accompagner dans la construction de leur projet de formation afin qu'il leur corresponde au mieux..

Dans un premier temps, on en décrira le contexte de mise en place, puis on en présentera le déroulement. Enfin, on analysera les résultats obtenus. Il est à noter que nous décrivons, observons et analysons un projet dont nous sommes parties prenantes. Aussi, il nous apparaît qu'en l'état, notre analyse ne peut donner lieu à généralisation. Toutefois, nous espérons qu'en partageant nos résultats, d'autres puissent les discuter, ou même les reproduire.

2 ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE ET PRÉSENTATION DE LA PROBLÉMATIQUE

2.1 Contexte et problématique

La pédagogie par projet et la pédagogie par résolution de problèmes [1] sont s'insèrent efficacement dans un programme pédagogique. Ce type d'approche consiste à demander à des étudiants de résoudre en groupe un problème particulier. Son origine provient de la forma-

tion d'étudiants en médecine [2] mais trouve également des applications dans d'autres domaines comme les mathématiques [3] ou encore la physique [4]. Dans cette approche de résolution de problème en groupe, chacun des étudiants peut tirer profit du travail collectif, que ce soit en ce qui concerne la résolution du problème en lui-même ou encore la maîtrise du processus qui a permis cette résolution. L'approche par projets [6] favorise quant à elle l'apprentissage des étudiants à travers la réalisation d'une production à partir d'un cahier des charges. Cette dernière est le plus souvent réalisée collectivement et met en pratique le travail collaboratif, la gestion de projet, le travail professionnel et la synthèse des acquis. Contrairement à la résolution de problème, il n'y a pas de solution unique au projet et celui-ci se déroule sur une période plus longue.

2.1.1 L'apprentissage de l'intelligence artificielle

L'informatique, comme la plupart des disciplines scientifiques, souffre du manque de motivation des jeunes à étudier les sciences. En conséquence, il convient de trouver et d'élaborer des parcours pédagogiques plus attractifs et plus adaptés aux étudiants. L'intelligence artificielle [6, 7], branche de l'informatique, subit également cette désaffection.

L'enseignement de matières scientifiques à forte valeur technologique dans des domaines pointus et innovants, et notamment l'intelligence artificielle, doit évoluer de pair avec son objet et exige donc une remise en cause fréquente de sa forme et de son contenu. Par ailleurs, on constate que les activités en cours présentiel ne sont plus les seules adaptées à un enseignement moderne de qualité. C'est pourquoi, lorsqu'elle est adaptée, la mise

en place de salles de créativité ou de projets est intéressante. Ce point peut pourtant paraître complexe à mettre en œuvre car actualiser régulièrement les travaux pratiques et les projets exige normalement des infrastructures lourdes et coûteuses. Ceci n'est pas sans poser un certain nombre de difficultés.

En outre, enseigner l'intelligence artificielle à des étudiants de licence pose des difficultés; étant donné la grande diversité des problématiques qui la composent, il est difficile d'éviter qu'un cours d'introduction ne se transforme en catalogue de techniques. Cette approche conduit à ce que, pour la grande majorité d'entre eux, les problématiques de l'intelligence artificielle n'apparaissent alors que comme un ensemble disjoint de techniques sans lien réel. Aussi, une approche orientée projet peut être plus stimulante pour des étudiants déjà intéressés par cette discipline. Néanmoins, il est fréquent qu'au cours du déroulement d'un projet à visée éducative, on se heurte à des petits problèmes basiques et chronophages qui éloignent inutilement l'étudiant de l'objet étudié. Et avec une approche robotique classique, ces difficultés se combinent à celles posées par le matériel électronique.

Cependant, grâce aux Lego Mindstorms, un enseignant dispose d'un outil pédagogique simple et peu onéreux. Il permet de conserver l'intérêt de la robotique tout en s'appuyant sur des composants modulaires déjà opérationnels qui permettent d'aller plus loin. En effet, si le système créé ne fonctionne pas, c'est que l'idée implémentée est à revoir car il est peu probable que le matériel dont la robustesse et la fiabilité sont reconnues puisse poser problème. L'expérience montre que les étudiants prennent en main cet outil rapidement car bien souvent il leur est familier : qui n'a jamais joué avec des Lego ? Ainsi, leur ingéniosité peut se manifester bien plus tôt qu'avec d'autres types de projets ; ce qui facilite leur aboutissement et par conséquent place les étudiants dans une dynamique de réussite.

2.2 La robotique comme environnement d'apprentissage

Nous ne sommes pas les premiers à avoir utilisé des Lego Mindstorms dans le cadre de l'apprentissage de l'intelligence artificielle. En 1989, Martin [8] créa le MIT Robot Design Project qui conduira à la publication d'un livre [9]. Les étudiants abordaient les bases de la robotique leur permettant de construire un robot et le cours se terminait par une compétition. En 2001 Yanco [10] adopta la même structure de cours appliqué à des robots ramasseurs de balles. En 1998 Mataric [11] a développé un microcontrôleur capable de fonctionner avec des Lego Mindstorms. Le syllabus de son cours couvre les principaux domaines de l'intelligence artificielle. Une autre introduction à l'intelligence artificielle qui s'appuie sur les Lego Mindstorms est le cours intitulé « Building Intelligent Robots » dispensée par Dean [12].

D'autres types de robots basés sur un bras manipula-

teur et utilisant du matériel Fisher-Technik ont aussi été utilisés afin d'enseigner les rudiments de la programmation à des adultes par Vivet et Leroux [13] avec de bons résultats.

Quelques personnes ont également proposé des cours sur des domaines très pointus de l'intelligence artificielle. Citons par exemple le cours de Littman [14] qui aborde la problématique de la programmation sous incertitude s'appuyant sur des techniques incluant les processus de décision de Markov totalement ou partiellement observable, les algorithmes d'apprentissage comme les algorithmes d'apprentissage par renforcement ou encore les algorithmes génétiques. Dans ce cours les Lego servent de support d'application des algorithmes présentés. Le cours se termine par un projet qui consiste à réaliser un robot capable de préparer le petit-déjeuner.

Enfin, il convient également de préciser qu'en France certains établissements utilisent aussi ce type de matériel ; par exemple, à l'École Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg, l'IUT de Bourges, à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, etc.

Le caractère innovant de notre projet repose en grande partie sur son contexte d'application. En effet, l'UFR de Mathématiques et d'Informatique et le Laboratoire de Paris Descartes (LIPADE), dont une des spécialités est l'intelligence artificielle, fournissent un terrain propice à la mise en œuvre de projets liés à des thématiques variées telles que : le traitement d'images, l'apprentissage par renforcement, la planification, la programmation, etc.

En proposant des projets pluridisciplinaires basés un support novateur et attractif, liés aux différentes thématiques qui composent l'intelligence artificielle, on souhaite capter l'intérêt des étudiants afin qu'ils puissent mieux préparer leur projet de formation à partir du moment où ils commenceront à percevoir leur formation comme un ensemble cohérent plutôt que comme un ensemble disjoint d'unités d'enseignement. En outre, les étudiants semblent enclins à accepter plus facilement une évaluation basée sur l'aboutissement d'un projet, et ce d'autant plus lorsqu'ils ont contribué à en établir les objectifs.

3 MISE EN ŒUVRE DES PROJETS INFORMATIQUES

3.1 Organisation

Durant leur cursus au sein de la licence MIA (Mathématiques, Informatique et Applications), les étudiants de deuxième (L2) et troisième années (L3) ont la possibilité de réaliser un projet informatique. Le fonctionnement des modules correspondants est identique pour les deux années ; les projets se déroulent pendant tout le second semestre (dont la durée est de 12 semaines) et ils sont à réaliser en groupes de 4 étudiants. Chaque groupe est encadré par un membre de l'équipe pédagogique. Afin d'assurer un suivi régulier, les étudiants

rencontrent leur encadrant de manière hebdomadaire. Le volume de travail individuel recommandé est d'au moins 6h par semaine pour les L2 et d'au moins 12h par semaine pour les L3. Des créneaux horaires sont bloqués pour leur permettre de travailler ensemble. Ainsi, sur l'ensemble du semestre, cela correspond au minimum à 72h pour les L2 et 144h pour les L3. Par ailleurs, la maquette des enseignements de la formation accorde 5 et 10 crédits ECTS (European Credits Transfer System) aux modules correspondants à ces projets. Les projets s'achèvent par une soutenance et la remise d'un rapport.

Un des objectifs pédagogiques des modules correspondants est de permettre aux étudiants de dépasser le simple stade des travaux pratiques en leur donnant une expérience de développement d'applications en équipe. Cette expérience doit les sensibiliser aux différentes phases de la réalisation d'un projet : de l'expression du besoin à la recette en utilisant une approche méthodologique courante dans leur futur milieu professionnel. Ainsi, pour les étudiants, le déroulement du semestre reprend le cycle de vie d'un projet.

1. Phase préalable	(3 semaines)
1.1 Réunion de présentation des sujets 1.2 Choix des sujets 1.3 Validation des choix	
2. Phase d'analyse	(4 semaines)
2.1 Définition des objectifs 2.2 Analyse des besoins 2.3 Spécification 2.4 Conception	
3. Phase de développement	(6 semaines)
3.1 Développement 3.2 Intégration 3.3 Vérification	
4. Phase de présentation	(2 semaines)
4.1 Recette 4.2 Soutenance 4.3 Démonstration (pour les plus aboutis)	

Tableau 1 : Planning des projets

3.2 Déroulement des projets

Afin de décrire le déroulement des projets informatiques, on peut identifier 4 phases (cf. Tab. 1) :

3.2.1 La phase préalable

La phase préalable débute par une réunion d'information qui a lieu 3 semaines avant la fin du premier semestre. Au cours de celle-ci, on présente en détail le fonctionnement du module ainsi que l'ensemble des sujets proposés. Les étudiants ont alors 2 semaines pour constituer une équipe de 4 étudiants souhaitant tra-

vailer ensemble. Chaque équipe doit alors rendre une fiche de vœux sur laquelle les étudiants ont classé tous les sujets qui leur ont été proposés par ordre de préférence.

À l'issue de cette phase, qui se termine avec le premier semestre, les sujets sont attribués de manière à satisfaire au mieux les souhaits exprimés par chaque équipe. En pratique, il est rare qu'un groupe se voie affecter un projet situé au-delà de son 3^e vœu.

Cette démarche, consistant à tenir compte des vœux des étudiants, vise à s'assurer qu'ils sont intéressés par le projet sur lequel ils vont travailler tout au long du semestre.

3.2.2 La phase d'analyse

L'encadrement des projets informatiques débute effectivement lors de la première semaine du second semestre. Néanmoins, environ la moitié des groupes débute la phase d'analyse dès que les sujets sont attribués en faisant des recherches bibliographiques ou webographiques.

Dans un projet, la phase d'analyse est particulièrement critique car elle conditionne le bon déroulement et la réussite du projet. Elle est constituée d'étapes préalables au développement d'un système ; celles-ci visent à définir, analyser et spécifier les besoins du maître d'ouvrage. L'objectif est de guider les étudiants afin qu'ils adoptent une démarche qualité ; celle-ci s'avère nécessaire si l'on souhaite que le résultat corresponde de manière satisfaisante aux besoins exprimés par le maître d'ouvrage. Pour y parvenir, les étudiants partent d'un énoncé informel qui donne les contours du besoin de la maîtrise d'ouvrage qu'ils complètent au cours du premier entretien avec leur encadrant. Ils peuvent aussi réaliser une analyse de l'existant (en interne ou en externe) et la compléter par des recherches d'informations auprès d'experts du domaine applicatif (par exemple : les futurs utilisateurs du logiciel). Ainsi les étudiants listent les résultats attendus en termes de fonctionnalités (en y mettant des priorités) et de qualités (performance, robustesse, maintenabilité, sécurité, extensibilité) et sous le contrôle de leur encadrant, ils établissent le cahier des charges et le cahier de recette. Bien qu'en réalité la maîtrise d'œuvre n'aie jamais la charge de ces documents, du point de vue pédagogique leur rédaction est importante. D'une part cela constitue une première expérience, et d'autre part cela oblige les étudiants à se mettre à la place de la maîtrise d'ouvrage. La conséquence attendue est de leur permettre de mieux comprendre ce que l'on attend d'eux. En outre, cela leur permet (en partie) de négocier le périmètre fonctionnel de leur application ; ils peuvent alors proposer des fonctionnalités supplémentaires, hiérarchiser l'ensemble des fonctionnalités et estimer les difficultés de mise en œuvre. L'objectif de cette négociation est de faire en sorte que chaque groupe se retrouve en situation de succès à la fin de son projet et ce, quel que soit son niveau (pour peu qu'il satisfasse aux

consignes).

Enfin, chaque groupe peut commencer à planifier son projet et à concevoir son application.

Cette phase peut paraître longue, mais elle est indispensable car elle prend à contre-pied les habitudes des étudiants. En effet, les exercices évalués en temps limité nécessitent de répondre rapidement, et on peut constater que c'est souvent aux dépens du temps de réflexion. En outre, pour acquérir une démarche qualité, indispensable dans le milieu professionnel, il faut pratiquer.

3.2.3 La phase de développement

La phase de développement comprend l'ensemble des étapes et processus qui permettent de passer de la conception à une application fonctionnelle et fiable. C'est au cours de cette phase que les étudiants sont confrontés à la programmation et à la réalisation concrète de l'ensemble des livrables logiciels de leur projet. Il s'agit alors pour eux de mettre en œuvre leurs connaissances et leurs compétences. Si le sujet est plus technique, ils devront alors en acquérir de nouvelles. Dans ce cas, l'encadrant peut les guider. Cette phase se termine par un ensemble de tests visant à vérifier le bon fonctionnement de l'application développée.

3.2.4 La phase de présentation

La phase de présentation consiste pour les étudiants à mettre en valeur le travail réalisé tout au long de leur projet. Elle revêt plusieurs aspects. Tout d'abord, avec leur encadrant, ils vont procéder à la recette de leur application : cela consiste à vérifier ensemble qu'elle répond aux besoins initialement exprimés puis à réaliser la livraison. Ensuite, ils doivent préparer leur soutenance en mettant en avant le travail réalisé (les soutenance sont publiques).

Dans le même temps, ils doivent compléter la page wiki dédiée à leur projet. Ils doivent y rendre accessible à tous l'ensemble de leur projet (code, documentation, exécutable). En outre, pour enrichir cette page, il leur est demandé de réaliser quelques vidéos de démonstration présentant le résultat de leur travail.

Enfin, ils doivent rédiger un rapport de projet. Il y est attendu qu'ils prennent du recul par rapport à leur réalisation ainsi qu'au cheminement qui les y a menés. Il leur est conseillé d'analyser les points positifs et les points négatifs de l'ensemble de leur travail afin qu'ils en tirent des enseignements et qu'ils ne reproduisent plus les erreurs qu'ils ont pu commettre.

En ce qui concerne les groupes de robotique, il leur a été demandé d'effectuer un certain nombre de démonstrations au sein de l'UFR à destination des autres étudiants ainsi que dans le cadre de manifestations, par exemple, cette année les Journées Numériques de Paris Descartes ou encore des salons d'étudiants (cf. §4.5).

3.3 Le rôle de l'encadrant

Tout au long du semestre, l'encadrant joue le rôle du maître d'ouvrage. Il intervient également pour suivre l'évolution du projet ; en particulier il doit être attentif

à la répartition des tâches au sein de l'équipe. En effet, les étudiants étant notés individuellement, il est crucial de déterminer le rôle et la contribution de chacun. Évidemment, en tant que membre de l'équipe pédagogique, l'encadrant a aussi un rôle de conseil et d'assistance. Son expertise du domaine applicatif lui permet d'orienter les étudiants vers les ressources adéquates et à corriger les propositions faites par les étudiants lorsqu'elles sont inadaptées et qu'elles risquent de conduire à un échec. Néanmoins, il laisse toute liberté aux étudiants de suivre ses indications ou non, car on apprend aussi de ses erreurs.

Dans ce contexte, l'enseignant, en tant qu'encadrant, n'est pas dans son rôle habituel. En effet, tout au long du déroulement du projet, il doit gérer l'incertitude car il n'a pas la maîtrise de la démarche adoptée. Pour tenir compte des besoins des apprenants, il doit renoncer à sa situation magistrale. Il agit comme médiateur et non comme dispensateur du savoir. Il peut négocier avec les élèves les objectifs et les moyens. Il doit aussi susciter et gérer les pensées divergentes et convergentes.

3.4 Les outils

Afin d'améliorer la qualité des projets rendus et la qualité des apprentissages, plusieurs outils ont été mis à la disposition des étudiants.

3.4.1 Dokuwiki

D'une part, un wiki a été mis en place afin de regrouper toutes les informations utiles aux étudiants et aux encadrants sous la forme d'un site web (cf. Illustr. 1).

Il est organisé en 7 rubriques :

- Un accueil qui récapitule simplement le contexte des projets informatiques de la Licence MIA
- Une rubrique spécifique aux projets de 3^e année qui rappelle les objectifs, le mode de fonctionnement (investissement attendu, planning, dates importantes,...), les sujets, les groupes assignés aux sujets ainsi que l'investissement attendu et les différentes dates importantes du projet.
- Une rubrique spécifique aux projets de 2^e année dont le contenu est analogue à la précédente.
- Une rubrique spécifiquement dédiée à un autre type de projet informatique de niveau L3 mais qui n'est pas l'objet de cet article.
- Une rubrique qui regroupe les différentes ressources utiles : l'ensemble des modèles de documents (comptes rendus, rapports, cahier des charges, etc.) ainsi que le questionnaire d'évaluation du module. Les étudiants sont incités à le remplir lors de leur dernier entretien hebdomadaire ; ils peuvent le remettre plus tard afin de préserver leur anonymat. On y trouve aussi la procédure à utiliser pour accéder au système de gestion de version ainsi qu'une Foire Aux Questions.
- Une rubrique est dédiée aux ressources se rapportant aux Lego Mindstorms. Elle présente des

exemples de réalisation ainsi que des sites de référence. On y trouve également le planning de la salle de robotique

- La dernière rubrique sert d'aide-mémoire aux encadrants. En outre, on y trouve les dates importantes les concernant ainsi qu'une Foire Aux Questions dédiée.

Les rubriques spécifiques aux projets de 2e et 3e année donnent également accès à la page consacrée à chaque équipe. Sur cette page, les étudiants doivent présenter le rendu final de leur projet. Le modèle qui leur a été proposé est organisé de la manière suivante:

- Les photographies des membres de l'équipe
- Un résumé (en français et en anglais) du sujet qui leur a été attribué
- Les documents qu'ils ont réalisés durant leur projet (en téléchargement)
- Leur projet: les codes sources ainsi qu'un exécutable (en téléchargement)
- Une présentation sonorisée correspondant à leur soutenance
- Éventuellement des vidéos de démonstration

3.4.2 Subversion

Subversion (SVN) est un système de gestion de versions open-source. Son principe de fonctionnement est celui d'un dépôt de fichiers unique et centralisé. L'ensemble des fichiers est stocké dans une base de données. Étant accessible par le réseau, il permet aux étudiants d'intervenir sur leur projet à distance. Ce genre d'outil, largement utilisé par les professionnels, est indispensable à tout projet d'envergure. En effet, il permet de gérer de manière collaborative le code source d'un projet. Il conserve l'historique des modifications apportées aux différents fichiers stockés, permet de gérer plusieurs versions de chaque fichier et gère les conflits lorsqu'un même fichier est modifié par deux personnes différentes au même moment. Il permet d'aborder de manière simple une notion fondamentale en génie logiciel : la non-régression de l'application. C'est-à-dire qu'à chaque évolution du code source (mineure ou majeure) on doit pouvoir garantir qu'il n'y a pas de régression comportementale ou fonctionnelle. Dans le cas contraire, il suffit de revenir à une version antérieure qui fonctionnait de manière plus satisfaisante.

3.4.3 PLENADIS

D'autre part, une plateforme support déjà existante: PLENADIS [15] a également permis d'encadrer ces projets. PLENADIS (cf. Illustration 2) est une plateforme de travail collaboratif de l'université Paris Descartes utilisée par les 1400 étudiants de l'UFR Mathématiques et Informatique. Un espace de travail est disponible sur la plateforme pour tous les groupes de travail des différentes formations: groupes de cours, groupes de travaux dirigés et groupes de projets. Dans

chacun de ces espaces, des fonctionnalités synchrones (chat, éditeur partagé, tableau blanc) et asynchrones (forum, dépôt de documents, envoi de courriels) sont disponibles.

Les équipes de projet utilisent la plateforme PLENADIS pour les usages suivants: dépôt des documents exigés comme les comptes des réunions hebdomadaires, le rapport final et des documents intermédiaires importants demandés par l'enseignant encadrant. Ils l'utilisent également pour partager des documents de travail, discuter et travailler en ligne en particulier quand ils ne sont pas tous présents à l'université.

3.4.4 Les Lego Mindstorms

Pour les projets RoboTICE, cinq robots ont été mis à disposition des étudiants. Ces Lego Mindstorms possèdent un microprocesseur de 32 bits ARM7. Ils offrent la possibilité de communiquer sans-fil par Bluetooth ou via un port USB 2.0.

Plusieurs capteurs sont également fournis et peuvent être connectés sur 4 ports d'entrée. Les capteurs disponibles sont les capteurs de distance à ultrasons, de lumière et couleurs, une caméra (avec suivi de cible), un capteur d'intensité sonore, une boussole, un gyroscope, un capteur infrarouge et un capteur de touché. Il existe également trois ports de sortie pour les moteurs, un écran à cristaux liquides et une alimentation par six piles de 1,5V.

4 BILAN D'ÉTAPE

4.1 Les sujets proposés

Dans le cadre de la mise en œuvre relatée ici, les étudiants de 2e année ont eu à choisir parmi 11 sujets tandis que ceux de 3e année ont eu à choisir parmi 10 sujets. Afin de faciliter la mise en œuvre des modules correspondants et l'évaluation des étudiants, les sujets sont dédoublés; c'est-à-dire qu'un même sujet peut être affecté à deux groupes différents.

Pour l'année universitaire 2009-2010, parmi les sujets proposés, trois sujets visaient l'utilisation des robots comme support :

- Un robot gyropode (L2). Inspiré du Segway, ce projet consiste à faire en sorte que le robot puisse rester en équilibre afin de se déplacer en toute sécurité dans son environnement.
- Un solveur de Rubik's Cube (L3). Ce projet consiste à faire en sorte que le robot puisse percevoir et résoudre n'importe quel Rubik's cube.
- Une librairie graphique de développement d'interface de commande de robots (L3). Ce projet vise à développer un ensemble de composants graphiques pour concevoir rapidement une interface graphique pour un robot; quels que soient ses capteurs et ses moteurs.

Ces sujets ont été plébiscités car 80% des étudiants les ont classés dans les trois premiers choix de leur fiche de vœux.

4.2 Les difficultés théoriques

Les sujets proposés induisaient certaines difficultés théoriques à différentes étapes de la réalisation du projet: de la conception à l'implémentation.

4.2.1 La modélisation du problème

Il s'agit d'une étape cruciale qui vise à identifier les données et à déterminer les traitements qui vont pouvoir être réalisés. En effet, l'organisation des données détermine les algorithmes qui vont pouvoir être utilisés, et par conséquent elle a une influence sur le temps de traitement. Ainsi, la représentation du Rubik's Cube doit être bien réfléchie si l'on souhaite que la résolution puisse se faire dans un temps raisonnable. De la même manière, dans le cas du robot gyropode, il faut bien comprendre qu'il s'agit d'un problème de pendule inversé.

4.2.2 L'architecture logicielle

Il s'agit d'une étape de la conception visant à définir les grands ensembles fonctionnels de l'application. Pour certains d'entre eux, il est parfois souhaitable d'utiliser des composants logiciels réutilisables car ils permettent un gain de temps important lors de la phase de développement. Toutefois, si l'on souhaite pouvoir les intégrer sans difficultés dans un projet, il faut maîtriser leurs spécificités dès la conception.

D'autre part, lorsqu'on développe des composants logiciels réutilisables il faut envisager un cadre d'utilisation général; c'est une tâche complexe car il est impossible d'anticiper toutes les situations. Par conséquent, la réalisation de composants graphiques permettant une conception rapide d'interface graphique pour un robot nécessite une bonne compréhension des problèmes de conception et d'intégration.

4.2.3 L'algorithmique

Au niveau algorithmique, les projets proposés abordaient des problèmes classiques en robotique et en intelligence artificielle. Par exemple, le robot gyropode nécessite une bonne compréhension du mécanisme de boucle d'asservissement sans laquelle le robot ne pourrait pas tenir en équilibre. Il s'agit d'une interaction entre un capteur et un système de commande visant à un comportement optimal de ce dernier.

Dans le cas du Rubik's Cube, un algorithme de résolution doit trouver une solution unique parmi plus de 43×10^{18} combinaisons possibles. Aussi, si l'on souhaite obtenir une solution en un temps raisonnable, la complexité de l'algorithme doit être soigneusement étudiée.

4.2.4 L'implémentation

L'implémentation est la dernière étape de réalisation d'une application. Elle consiste à traduire les algorithmes en langage de programmation. Les projets proposés leur ont permis d'aborder un point essentiel : l'influence de la boucle critique sur le temps d'exécution du programme. La boucle critique est un ensemble d'instructions nécessairement répété à de très nom-

breuses reprises afin de procéder aux traitements dont le programme a la charge. Ainsi, une mauvaise implémentation peut ralentir de manière dramatique son fonctionnement (proportionnellement à la complexité de l'algorithme utilisé). Par exemple, dans le cas du robot gyropode, un temps de traitement trop long risque d'entraîner sa chute. Et dans le cas du solveur de Rubik's Cube, la résolution pourrait prendre plusieurs heures.

4.3 Les difficultés pratiques

Outre les difficultés théoriques, plusieurs difficultés d'ordre pratique ont également été rencontrées. La première est celle d'un taux d'occupation de la salle de robotique de 100 %. En effet, comme indiqué dans le paragraphe précédent, les étudiants avaient chacun plusieurs créneaux dans la semaine pour disposer de leur robot dans une unique salle mais ne pouvaient pas réaliser de tests sur le robot en dehors de ces périodes. Il a fallu faire appel à une modélisation numérique du problème afin de pouvoir tester virtuellement les solutions avant de passer à la pratique sur le robot.

La décharge des batteries a également posé problème. En effet, on peut observer une baisse de la tension délivrée par les batteries au bout de 15 minutes d'utilisation. Cette baisse altère les performances des moteurs, ce qui présente un risque pour le maintien de l'équilibre du robot gyropode. Afin de pallier à cela, il est donc nécessaire de la prendre en compte. La solution mise en œuvre par les étudiants consiste à implémenter dans leur programme une estimation de la décharge qui entraîne une modification des commandes envoyées aux moteurs.

La précision et la sensibilité des capteurs ont également été prises en compte. Par exemple, la capture des couleurs des carrés d'un Rubik's cube est très dépendante des conditions d'éclairage. Ainsi, une solution alliant un apprentissage et une aide à la correction manuelle a été mise en œuvre. La plupart de ces solutions ont été apportées par les étudiants eux-mêmes, montrant ainsi leur ingéniosité et leur capacité à intégrer des connaissances connexes.

4.4 Les réalisations

Quatre groupes ont donc pu réaliser leur projet de fin d'année sur un robot Lego Mindstorms. Les illustrations 1 et 2 montrent deux réalisations que sont le robot gyropode et le robot solveur de Rubik's cube.

Il est intéressant de remarquer que les deux équipes ayant travaillé sur le robot gyropode ont eu des approches très différentes du même problème. Cependant, les deux équipes ont fait preuve d'une grande ingéniosité pour trouver des solutions permettant de garantir l'intégrité du robot au cas où leurs programmes ne lui permettraient pas de rester correctement en équilibre.

4.5 Valorisation

La valorisation des projets réalisés a pris plusieurs



Illustration 1: Robot gyropode



Illustration 2: Robot solveur de Rubik's cube

formes. Tout d'abord, les étudiants ont été conviés à effectuer des démonstrations devant différents publics et dans différents contextes:

- Ils ont présenté leur travail lors des Journées Numériques de l'université Paris Descartes.
- Certains d'entre eux étaient présents lors des journées portes ouvertes de l'université et ils ont suscités un vif intérêt auprès des visiteurs. Cela a d'ailleurs constitué un important vecteur de la visibilité des filières informatiques proposées.
- Une démonstration a été organisée à destination des étudiants et des enseignants de l'U.F.R. de Mathématiques et d'Informatique.

Ces différentes démonstrations leur ont permis de valoriser leur travail mais aussi d'acquérir une plus forte assurance dans leur façon de présenter.

Un second type de valorisation a été également effectué par les étudiants sur les réseaux sociaux. Plusieurs photos et vidéos réalisées par les étudiants ont été diffusées sur des sites internet tels que YouTube et Facebook. Il est difficile d'évaluer l'impact de ce type de communication. Toutefois, il est certain que les vidéos ont eu un certain succès puisque certaines d'entre-elles ont été visionnées plus de 600 fois à ce jour ; c'est-à-dire environ un mois après leur mise en ligne.

En outre, le travail réalisé par les étudiants est valorisé via des supports plus classiques comme la médiathèque de l'université Paris Descartes où les vidéos des démonstrations sont accessibles à tous.

4.6 Évaluation

L'évaluation repose sur un questionnaire qui a été remis aux étudiants à la fin de leur projet. Ce questionnaire concerne leur ressenti sur la réalisation de leur projet. Les questionnaires ont été recueillis auprès des étudiants ayant terminé le semestre.

Nous n'avons pas observé de différences significatives entre les populations d'étudiants de L2 et de L3. Aussi, nous avons décidé d'observer deux populations différentes: ceux ayant participé à des projets robotiques et les autres. Les effectifs respectifs de ces deux populations sont de 15 étudiants et de 75 étudiants.

Ces deux populations sont équivalentes en ce qui concerne l'expérience préalable dans la réalisation d'un projet informatique. Environ la moitié des étudiants questionnés ont déjà participé à ce type de projet. Pour ce qui est de la gestion du planning par les étudiants, la majorité des étudiants (projets robotiques et non-robotiques) estime avoir plutôt bien géré son planning. Toutefois, les étudiants impliqués dans les projets robotiques jugent qu'ils ont mieux tenu leur planning en comparaison des autres étudiants, dont un quart pense avoir plutôt mal géré son planning.

À la question : « Votre groupe a-t-il atteint les objectifs fixés ? », 15 % des projets non-robotiques considèrent qu'ils n'ont pas atteint leurs objectifs alors que tous les projets robotiques pensent avoir atteint leurs objectifs. Cette observation semble correspondre aux commentaires des étudiants et nous laisse penser que les étudiants des projets robotiques ont passé plus de temps à la réalisation de leurs objectifs.

À la question : « Votre groupe a-t-il travaillé efficacement en équipe ? », un tiers des étudiants impliqués dans des projets non-robotiques jugent ne pas avoir travaillé efficacement. En revanche, la majorité des étudiants en robotiques pensent que leur travail a été efficace. Ceci peut s'expliquer par le fait que les groupes de projets robotiques avaient un fort intérêt pour leur sujet. En effet, les étudiants qui pensent ne pas avoir travaillé de manière efficace font souvent partis des groupes dans lesquels l'intérêt pour le sujet n'était pas équilibré.

Cette hypothèse semble confirmée par les réponses à la question : « Pensez vous qu'il y avait une bonne ambiance dans votre groupe ? » et par la question : « Êtes vous satisfait du travail réalisé par le groupe ? ». À la première question comme à la seconde la totalité des étudiants des projets de robotique ont estimé avoir travaillé dans une bonne ambiance et sont satisfaits contre seulement 80 % pour les autres.

Nos résultats corroborent les observations préalablement obtenues dans des expériences similaires d'apprentissage par projet. On constate toutefois un plus fort investissement sur les projets robotiques. Il est à noter que la seule personne ayant participé à un projet

robotique et trouvant son investissement insatisfaisant a commenté son évaluation en expliquant une erreur de parcours. Il semble donc que le support robotique ait un intérêt pour la mise en œuvre de l'apprentissage par projets en informatique.

5 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Notre objectif initial était de démontrer la faisabilité des projets de robotique au sein de notre établissement. Cette expérience s'est révélée encourageante. Nous avons même eu la surprise de constater que certains étudiants ont montré une implication émotionnelle pour le robot dont ils avaient la charge en lui donnant un nom, en le personnalisant, etc.

Nous avons pu constater que les étudiants de licence sont venus nombreux pour assister à la présentation des résultats obtenus par les équipes ayant travaillé sur des robots. Cela nous a amenés à considérer que les démonstrations pourraient inclure d'autres projets que les seuls projets de robotique.

À ce stade, il n'est pas possible d'évaluer rigoureusement les résultats de tels projets. En effet il est difficile de déterminer qui a appris quoi, quand, comment, étant donné la diversité des sujets proposés. Néanmoins, on peut tout de même constater les progrès réalisés dans certains domaines comme par exemple la méthodologie employée. En outre, par rapport à nos objectifs initiaux, il faudrait plusieurs années avant de pouvoir vérifier si les étudiants ayant travaillé avec des robots obtiennent de meilleurs résultats ou s'ils poursuivent leur cursus dans un parcours du master lié à l'un de leurs projets. Cependant, nous estimons que nous avons atteint un certain nombre de buts :

- Intéresser les étudiants au domaine de l'intelligence artificielle aux travers des différentes thématiques qui la composent.
- Rendre plus attractives les formations d'informatique au sein de l'université Paris Descartes. Ce point peut sembler en dehors du domaine de la pédagogie, pourtant il nous semble corrélé à la motivation des étudiants.
- Favoriser les collaborations scientifiques entre chercheurs de l'U.F.R. de Mathématique et d'Informatique.

Désormais, nous réfléchissons à la possibilité de passer à l'échelle car nous souhaiterions qu'un plus grand nombre d'étudiants puisse travailler avec des robots. À ce jour, il nous semble que cela pourrait être réalisé de deux manières différentes ; soit en augmentant le nombre de projets de robotique, soit en proposant des travaux pratiques transversaux. Ainsi, avec quelques robots supplémentaires, il serait possible de toucher toute une promotion. La conclusion de ces travaux pratiques pourrait être une compétition entre les différentes implémentations des différents groupes sur des robots identiques. En outre, nous envisageons l'acquisition de robots plus sophistiqués à destination des étu-

dants de master afin de les confronter à des situations nécessitant une maîtrise de l'état de l'art.

6 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier : l'université Paris Descartes qui, au travers des projets d'innovation pédagogique, a permis l'acquisition du matériel de robotique; l'UFR de Mathématiques-Informatique qui a mis à notre disposition une salle dédiée à la robotique; ainsi que nos collègues qui ont encadrés l'ensemble des projets.

Bibliographie et webographie

- [1] George, S. « Apprentissage collectif à distance. SPLACH: un environnement informatique support d'une pédagogie de projet ». Thèse de doctorat (2001)
- [2] Martin, K. Ed., "Issues of Teaching and Learning", *vol. 2, University of Western Australia*, (1996).
- [3] CPBL, Center for Problem-Based Learning, <http://www.imsa.edu/team/cpbl/cpbl.html>
- [4] Duch, B.J. "Problem-Based Learning in Physics: The Power of Students Teaching Students", *About Teaching: A Newsletter of Center for Teaching Effectiveness*(1995).
- [5] Kilpatrick, W.H. "The Project Method", *Teachers College Record*, *vol. 19 (2)*, p. 319-335, (1918).
- [6] Brooks, R.A. « Intelligence without representation ». *Artificial Intelligence* (1991) 47 : 139 – 59.
- [7] Russell, S. J., and Norvig, P. « Artificial Intelligence: a Modern Approach » *Prentice Hall*, 2nd edition (2003)
- [8] Martin, F. « The MIT LEGO Robot Design Project Competition » <http://fredm.www.media.mit.edu/people/fredm/projects/6270/> (1989)
- [9] Martin, F. « Robotic Explorations: A Hands-On Introduction to Engineering » *Prentice Hall* (2000)
- [10] Yanco, H. « 91.450: Robotics I. » <http://www.cs.uml.edu/~holly/91.450/> (2001)
- [11] Mataric, M. « CS445 Introduction to Robotics, a LEGO-kit-based hands-on lab course » <http://www-scf.usc.edu/~csci445/> (1998)
- [12] Dean, T. « CS148: Building Intelligent Robots » <http://www.cs.brown.edu/~tld/courses/cs148/01/syllabus.htm> (2001)
- [13] Leroux, P., « ROBOTEACH: un assistant pédagogique logiciel dédié à l'alphabétisation en technologie », *5ème Colloque International sur la Robotique Pédagogique*, p. 45- 58, 12-15 août 1997, Montréal
- [14] Littman, M. « CPS196: Programming Under Uncertainty » <http://www.cs.duke.edu/~mlittman/> (1999)
- [15] Parchemal Y. and Baron G.L. "Plenadis: a collaborative work platform for higher education" *In Proceedings of Edulearn* (2010)